

Список использованных источников

1. Мир художественного литья. История технологии / Н.И. Бех, В.А. Васильев, Э.Ч. Гини, А.М. Петриченко. УРСС. М.: 1997.
2. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук [и др.]; под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
3. Физико-химические основы литейного производства: учебник / В.А. Васильев. М.: МГТУ, 1994. 320 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Н.П. Лякишев. М.: 1996.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ

Спитченко Д.И.*, Вохмяков А.М.*, Киселев Е.В.*,

Казяев М.Д.*, Казяев Д.М.**

* ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

** ООО «НПК «УралТермоКомплекс», г. Екатеринбург, Россия

На заводах тяжелого машиностроения эксплуатируют вертикальные печи для термической обработки крупных длинномерных поковок.

На ОАО «Уралмашзавод» подобные печи применяют для нагрева роторов турбин и прокатных валков с целью их термической обработки. Построенные в начале прошлого века, эти печи к настоящему моменту морально и физически устарели. Повышенные требования к качеству термической обработки предопределяют модернизацию этих тепловых агрегатов.

В данной статье изложены конструктивные особенности и тепловая работа до и после технического перевооружения одной из вертикальных печей кузнечно-прессового цеха Уралмашзавода.

Конструкция и тепловая работа печи до технического перевооружения

Камерная вертикальная печь № 22 была построена по кирпичной технологии, с двухслойной футеровкой. Огнеупорный слой был выполнен из шамота класса А, теплоизоляционный слой – из шамота легковеса. Толщина футеровки составляла 460 мм, что при работе печи в периодическом режиме приводило к значительной аккумуляции тепла кладкой. Свод печи был выполнен в виде двух раздвижных полукрышек. Загрузка печи осуществлялась сверху. Высота рабочего пространства печи 12м, внутренний диаметр – 3м. Изделия в печи подвешивают на специальной траверсе, опирающейся на балки. Устаревшая конструкция крышки приводила к неплотностям и, как следствие, к большим тепловым потерям с выбивающимися газами, что негативно сказывалось на расходе топлива. Дымоотведение из рабочего пространства осуществлялось через дымоотводящий канал, расположенный в поду печи, дымовой боров и дымовую трубу, общую для нескольких печей. Печь была оснащена 13 горелками конструкции УЗТМ. Подогрев воздуха, подающегося на горение, отсутствовал. Ведение теплового режима печи осуществлялось вручную обслуживающим персоналом.

Применение кирпичной футеровки, горелок устаревшей конструкции, ручное управление печью приводило к низкому КПД печи, значительным энергозатратам, низкому качеству нагрева и снижению производительности.

Для подтверждения описанного выше был рассчитан тепловой баланс для режима нормализации при нагреве ротора максимальной массой 60 т. Баланс составлен для интервала температур 700...960 °С, при котором устанавливается максимальная скорость нагрева садки, требующая максимальных затрат топлива.

В ходе расчета использовались следующие исходные данные:

- максимальная масса изделия – 60 т;
- максимальная скорость подъема температуры – 80 °С/ч;
- время нагрева $\tau = 3,25$ ч;
- теплота сгорания природного газа: $Q_p^H = 34000$ кДж/м³;
- коэффициент избытка воздуха: $\alpha = 1,2$;
- начальная температура металла: $t_{м.нач} = 700$ °С;
- теплоемкость металла при $t_{м.нач}$: $c_{м.нач} = 0,645$ кДж/(м³К);
- конечная температура металла: $t_{м.кон} = 960$ °С;
- теплоемкость металла при $t_{м.кон}$: $c_{м.кон} = 0,689$ кДж/(м³К);
- масса специальной оснастки (траверсы): $m = 20$ т;
- средняя температура отходящих газов: $\bar{t}_{ух.г} = 880$ °С.

По приведенным исходным данным был составлен тепловой баланс (табл. 1):

Таблица 1

Тепловой баланс печи до технического перевооружения
за период подъема температуры от 700 °С до 960 °С

Приход	кВт	%	Расход	кВт	%
1 Химическая теплота топлива – Q_x	6480,4	100	1 Теплота на нагрев металла – ΔQ_1	1079,04	16,65
			2 Теплота, теряемая с отходящими газами – Q_2	2923,95	45,12
			3 Потери теплоты с приспособлениями – $Q_{5пр}$	359,55	5,55
			4 Аккумуляция теплоты футеровкой печи и потери теплоты теплопроводностью – $Q_5 + Q_6$	2117,85	32,68
Суммарный приход теплоты	6480,4	100	Суммарный расход теплоты	6480,4	100

Основные показатели работы печи:

Общая тепловая мощность печи за период подъема температуры от 700 до 960 °С:

$$Q_{общ} = B \cdot Q_p^H = 6480,4 \text{ кВт}.$$

Удельный расход условного топлива за тот же период:

$$b = \frac{B \cdot Q_p^H}{29,31 \cdot P_m} = \frac{6480,4}{29,31 \cdot 5,13} = 43,1 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{т}}.$$

Коэффициент полезного действия печи:

$$\eta_{общ} = \frac{\Delta Q_m}{Q_{прих}} \cdot 100 = \frac{1079,04}{6480,4} \cdot 100 = 16,65\%.$$

Массивная кирпичная футеровка печи аккумулирует значительное количество теплоты в сумме с высокими потерями теплоты теплопроводностью (32,68 %). Использование кирпичной футеровки, а так же отсутствие узла утилизации тепла отходящих газов приводит к низкому КПД печи – 16,65 %.

Для увеличения КПД печи, уменьшения расхода топлива, увеличения производительности печи, повышения качества продукции, а также для улучшения условий труда и экологической обстановки проведено полное техническое перевооружения печи.

При этом осуществлен комплекс мер, обеспечивающих коренное изменение конструкции печи:

- кирпичная футеровка заменена на современную керамоволокнистую;
- установлены рекуперативные горелки;

- смонтирована автоматическая система управления тепловым режимом и механическим оборудованием печи.

Для этих условий и для того же режима нормализации рассчитан тепловой баланс (табл. 2) и основные показатели работы печи.

Таблица 2

Тепловой баланс печи за период подъема температуры от 700 °С до 960 °С
после технического перевооружения

Приход	кВт	%	Расход	кВт	%
1 Химическая теплота топлива – Q_x	2482	87,37	1 Теплота на нагрев металла – ΔQ_1	1079,04	38
2 Физическая теплота подогретого воздуха – Q_v	358,62	12,62	2 Теплота, теряемая с отходящими газами – Q_2	1067,14	37,57
			3 Теплота, теряемая теплопроводностью через кладку – $Q_{5т}$	62,13	2,19
			4 Потери теплоты с приспособлениями – $Q_{5пр}$	359,55	12,67
			5 Аккумуляция теплоты футеровкой печи – Q_6	272,76	9,6
Суммарный приход теплоты	2840,62	100	Суммарный расход теплоты	2840,62	100

Основные показатели работы печи:

Из уравнения теплового баланса найден средний расход топлива 0,073 м³/с, или 263 м³/ч.

Общая тепловая мощность печи за период подъема температуры от 700 до 960 °С составила:

$$Q_{\text{общ}} = B \cdot Q_p^H = 0,073 \cdot 34000 = 2482 \text{ кВт}.$$

Удельный расход условного топлива за тот же период:

$$b = \frac{B \cdot Q_p^H}{29,31 \cdot P_m} = \frac{0,073 \cdot 34000}{29,31 \cdot 5,13} = 16,51 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{т}},$$

где $P_m = 5,13$ кг/с – производительность печи при нагреве ротора массой 60 т за время 3,5 часа.

Суммарный коэффициент полезного действия печи:

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{1079,04}{2840,62} \cdot 100 = 38\%.$$

В соответствии с предложенным комплексом мер на Уралмашзаводе было проведено техническое перевооружение вертикальной термической печи.

Конструкция и тепловая работа печи после технического перевооружения

Продольный и поперечный разрезы печи показаны на рисунках 1 и 2.

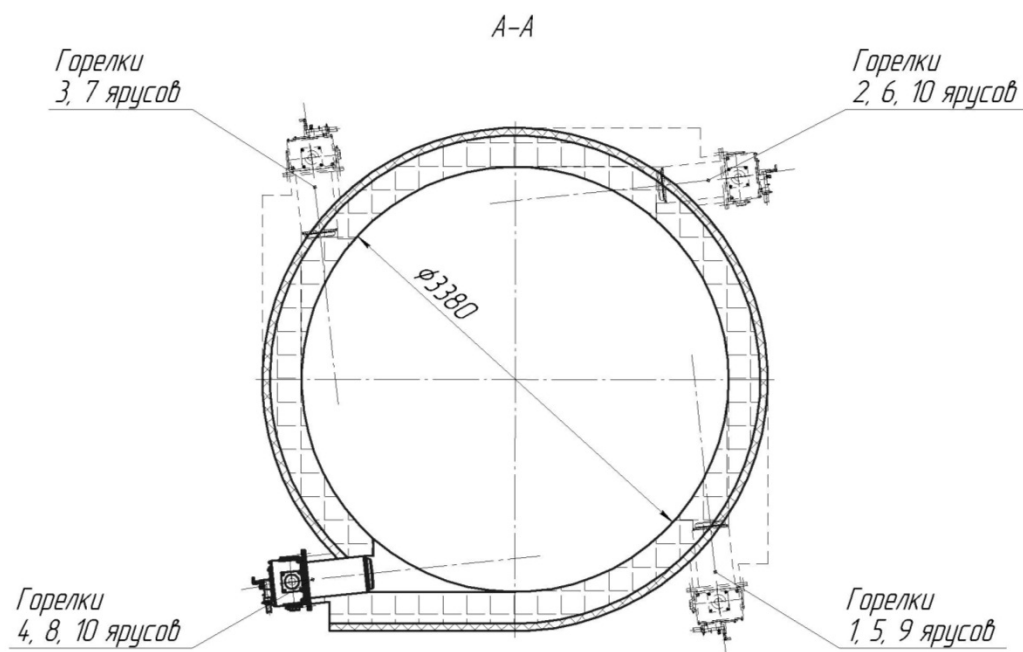


Рис. 2. Поперечный разрез печи



Рис. 3. Общий вид верхней части рабочего пространства вертикальной печи

Стенки и крышка печи футерованы современными волокнистыми материалами в два слоя. Внутренний слой из керамоволокнистых огнеупорных модулей «FIBRATEC HPS 1260» производства чешской компании «Keratech», имеющих классификационную температуру 1260 °С, внешний слой – из волокнистых матов «Rockwool wired mat 80». Под печи выполнен по кирпичной технологии в 2 слоя. Общий вид футеровки стен верхней части рабочего пространства печи керамоволокнистыми блоками виден на рис. 3.

Фото сделано в момент проведения пуско-наладочных работ. Крышки печи раздвинуты, для визуального контроля работы горелок.

На печи установлено 11 скоростных горелок рекуперативного типа ECOMAX 5FTR мощностью по 250 кВт каждая. Горелки оснащены гладкими стальными рекуператорами,

расположены тангенциально по одной в каждом из десяти ярусов по высоте и работают в импульсном режиме, по принципу «включено-выключено». В нижнем ярусе расположено две горелки для компенсации теплотрат на нагрев кирпичного пода. Горелка каждого последующего яруса повернута на 90° относительно предыдущего, что показано на рис. 2. Схема горелки представлена на рис. 4.

Рабочее пространство печи разделено на пять виртуальных зон управления. В каждой зоне, кроме нижней, расположено две горелки, в нижней зоне расположено три горелки. На каждую зону предусмотрена установка двух термопар. Управление температурным режимом в зоне осуществляется по показаниям основной термопары, вторая термопара служит для контроля. В случае выхода основной термопары из строя, управление осуществляется по показаниям контрольной термопары до момента устранения неисправности основной термопары.

Благодаря применению скоростных горелок стало возможным проводить охлаждение садки с заданной скоростью непосредственно в рабочем пространстве. Охлаждение осуществляется путем продувки рабочего пространства воздухом через горелки. Возможность охлаждения садки в печи значительно упростило процедуру проведения режима нормализации.

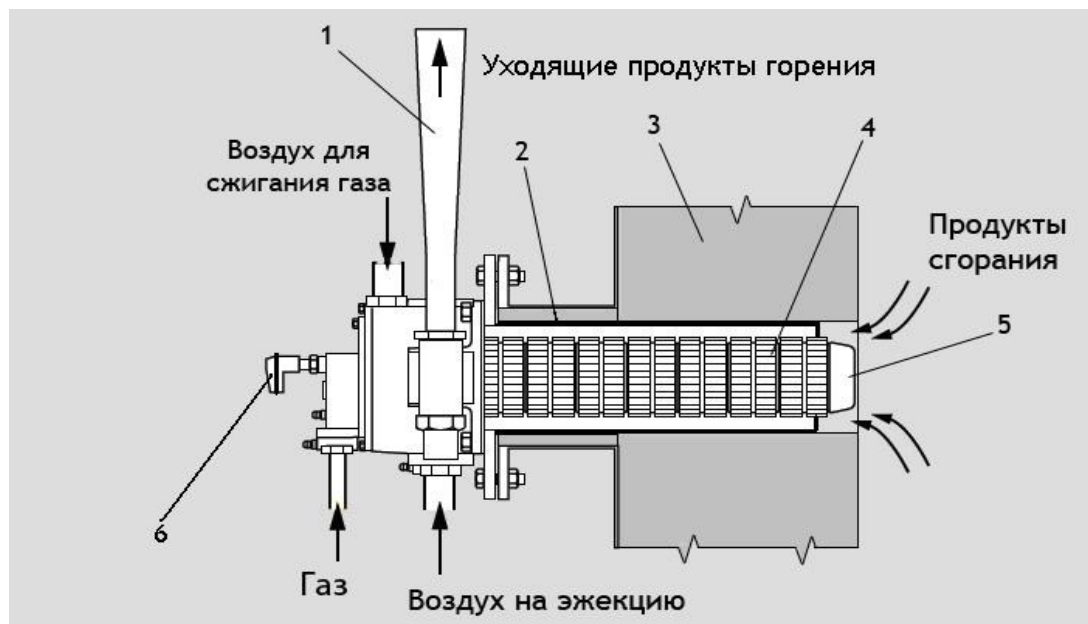


Рис. 4. Рекуперативная горелка ECOMAX:
1 – эжектор, 2 – жаровая труба, 3 – футеровка печи, 4 – рекуператор,
5 – носик горелки, 6 – электрод зажигания и контроля пламени

После окончания работ по техническому перевооружению были проведены гарантийные испытания печи на двух режимах (нормализация и отпуск), осуществляемых непрерывно друг за другом.

Для этого в печь поместили опытную садку. На рис. 5 представлен разрез печи с опытной садкой (ротор массой 23 т), закрепленной на траверсе массой 7 т. На поверхности ротора в характерных точках были закреплены восемь контрольных гибких термопар (рис. 5), подключенных к регистрирующей аппаратуре.

В ходе гарантийных испытаний проверялась способность автоматики печи осуществлять заданную скорость подъема температуры, поддерживать постоянную температуру как в зонах печи, так и в контрольных точках на металле, а также осуществлять охлаждение садки с заданной скоростью.

Техническим заданием были установлены скорости подъема температуры, охлаждения и допустимые отклонения температуры при выдержках (табл. 3).

Таблица 3

Технологические условия нагрева и охлаждения ротора

Интервал температуры, °С		Скорость, °С/ч
При нагреве	100 ... 500	20
	500 ... 700	40
	700 ... 960	60
При охлаждении	960 ... 100	При нормализации: максимально по мощности продувки через горелки
	690 ... 200	При отпуске: 20 °С/ч
Отклонение температуры при выдержках		± 5 °С

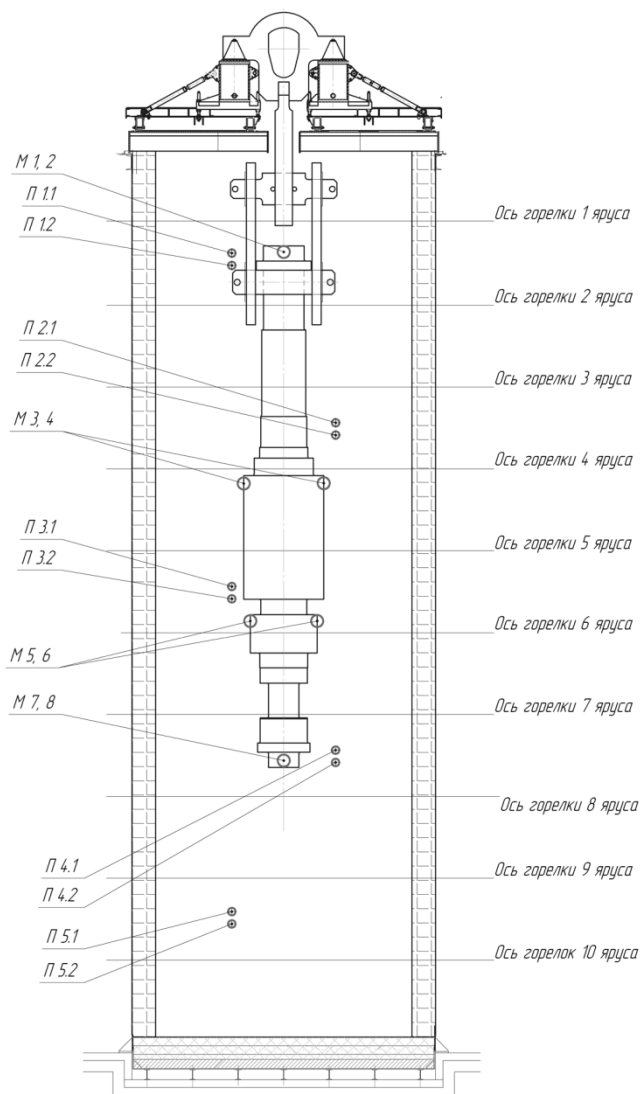


Рис. 5. Расположение контрольных термопар на садке:

П – печная термопара (стационарная); первая цифра (1, 2, ... 5) – номер зоны;
 вторая цифра: 1 – основная термопара; 2 – контрольная термопара;
 М1... М8 – гибкие термопары, установленные на поверхности металла

На рисунке 6 представлен температурный режим печи, осуществленный при гарантийных испытаниях.

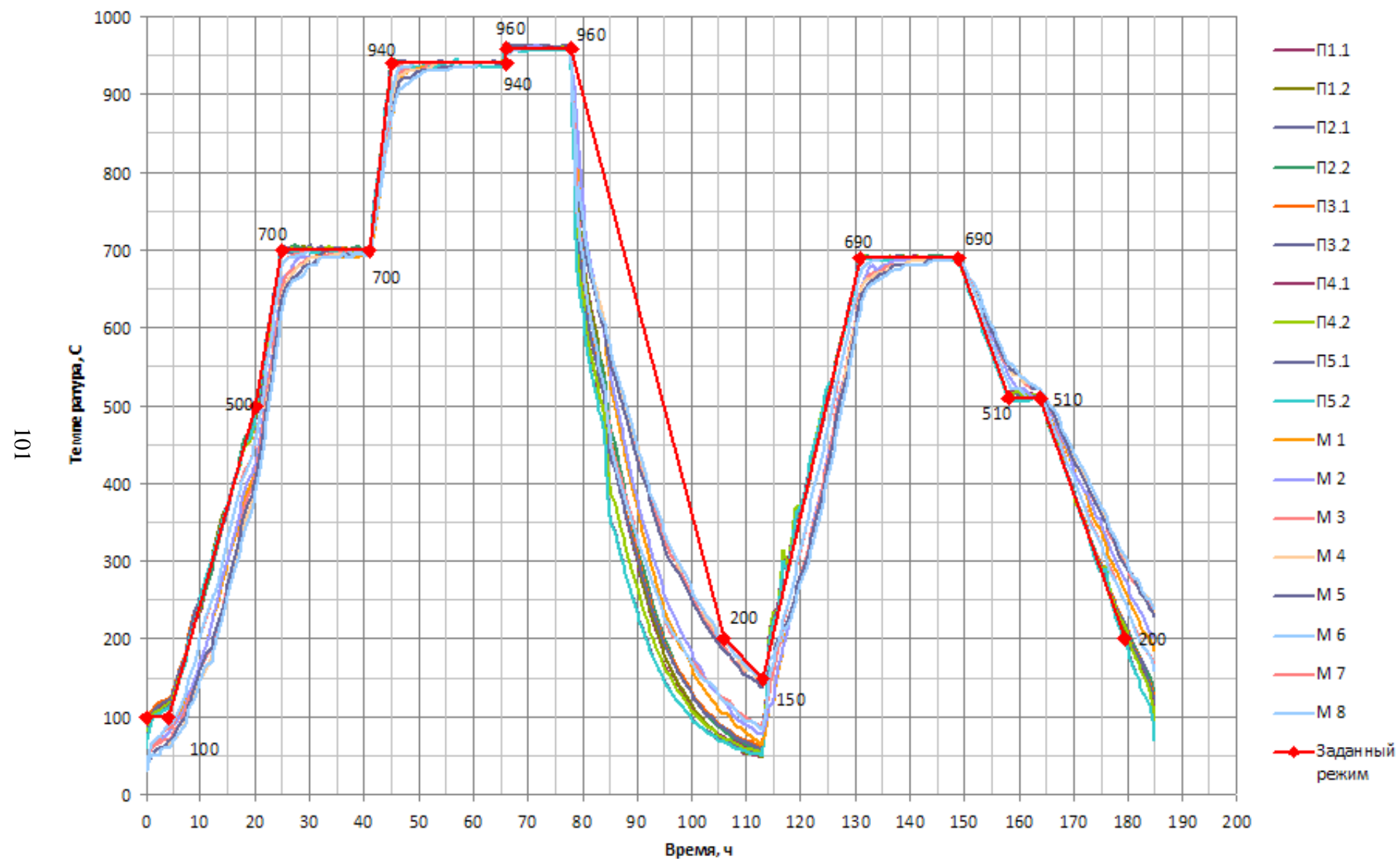


Рис. 6. Режим нормализации с отпуском при гарантийных испытаниях печи (условные обозначения «П» и «М» см. на рис. 5)

Анализ графика изменения температур показал, что на этапах подъема температур автоматика управления выдерживает заданные скорости подъема температур, перепад по зонам печи составлял не более 5 °С. Перепад температур на изделии по показаниям контрольных термопар составлял не более 10 °С, несмотря на большую разницу диаметров частей ротора. Разница между печными и контрольными термопарами на металле при подъеме температуры печи составляла не более 100 °С, что вызвано большой массой нагреваемого ротора и быстрым нагревом поверхности нетеплопроводной футеровки печи. При выдержках разница показаний между печными и контрольными термопарами сокращалась до нуля. При охлаждении в интервале температур 960–700 °С средняя скорость падения температуры составила 87 °С/ч. Далее наблюдалось падение скорости охлаждения, увеличение перепада температур по длине ротора, вызванное большой разницей диаметров частей ротора, увеличение перепада температур между рабочим пространством и поверхностью ротора. В ходе охлаждения ротора при отпуске с технологически заданной скоростью 20 °С/ч, перепад температур по длине ротора составлял 5–30 °С, а между рабочим пространством и изделием – 10–50 °С, что соответствовало требованиям технического задания.

Для сравнения теоретических и практических данных был проведен расчет удельного расхода условного топлива для периода подъема температур в интервале 700–960 °С.

Средний расход топлива за этот период составил 53,67 м³/ч, или 0,015 м³/с; производительность печи – 1,39 кг/с, отсюда удельный расход составил:

$$b = \frac{0,015 \cdot 34000}{29,31 \cdot 1,39} = 12,45 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{т}}$$

Полученный в ходе гарантийных испытаний удельный расход условного топлива, даже при более низкой производительности, меньше теоретического на 25 % за тот же интервал подъема температур, что объясняется импульсным режимом отопления печи. Изменение производительности вызвано различием садки: масса ротора 23 т, вместо 60 т, масса траверсы 7 т, вместо 20 т.

Температурный режим после технического перевооружения не изменялся.

Применение современных горелочных устройств, АСУ ТП позволило сократить перепад температур по поверхности изделия, благодаря чему можно ставить вопрос о сокращении теплотехнических выдержек. Стало возможным проведение охлаждения садки в рабочем пространстве печи при продувке через горелки.

Таким образом, применение современного оборудования и методов исследования, изложенных в данной статье, позволило получить следующие результаты:

1. В ходе гарантийных испытаний подтверждено расчетное значение удельного расхода условного топлива и резкое снижение абсолютного расхода топлива в сравнении с таковым до технического перевооружения.
2. Нагрев металла прошел в соответствии с установками технологического задания; высокое качество нагрева позволяет рассмотреть вопрос о возможности сокращения времени технологических выдержек.
3. Проведение охлаждения изделия в рабочем пространстве печи позволяет отказаться от дополнительного оборудования, сократить фактическое время проведения режима, устранив перегрузку изделия из печи в специальную охлаждающую камеру.
4. Применение современной системы автоматизации позволяет исключить «человеческий фактор» при управлении печью, поддерживать заданные скорости изменения температуры при нагреве и охлаждении с минимальным отклонением температур по зонам печи.

Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей; изд-е 1-е / Б.И. Китаев [и др.]. М.: Металлургия, 1970. 528 с.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ НАКЛАДОК

Старцева М.В. *, Липунов Ю.И. **, Эйсмонт К.Ю. **, Ярошенко Ю.Г. *

** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

*** ОАО «ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия*

Рельсовая накладка – это один из ответственных элементов верхнего строения железнодорожного пути. Важной технологической операцией при производстве рельсовых накладок наиболее часто применяемых типов Р65 и Р50 является закалка в масле (ГОСТ 4133–73). Как известно, при испарении масла, а это неизбежно происходит при закалке горячего металла, образуются следующие вещества: углеводороды, оксикислоты, оксиды серы, серосодержащие соединения – меркаптаны, дисульфиды, оксиды азота, нитросоединения, фенолы, полиароматические углеводороды, фосфоросодержащие органические соединения [1]. Есть данные [2], свидетельствующие, что превышение ПДК по содержанию масляного аэрозоля в атмосфере цехов, использующих нефтяные масла типа И20А, составляет 8–30 раз. Кроме этого, закалочные масла должны соответствовать следующим требованиям: иметь определённый уровень вязкости, который постоянно нужно контролировать; обладать большой стойкостью к испарению, иметь высокую химическую и термическую стабильность. В случае, когда закалочный бак с маслом открытого типа, то необходима мощная система вентиляции, к которой выдвигаются специальные требования по пожаробезопасности. Было установлено, что закаливающая способность масла при одинаковой температуре зависит от вязкости. Со временем вязкость масла увеличивается, поэтому снижается его охлаждающая способность. Основными причинами этого являются: насыщение продуктами разложения с течением времени при закалке, скопление в закалочном баке окалины [3]. Кроме этого, с ростом вязкости увеличивается унос масла из закалочного резервуара, поэтому необходимо его добавление. А через некоторое время требуется полная замена масла, отработанное – подлежит регенерации. Существуют предельные нормы, при которых масло считается негодным к использованию:

- 1) повышение вязкости более чем на 40 % по сравнению с исходной;
- 2) содержание смол более 10 %;
- 3) содержание механических примесей более 0,15 %;
- 4) кислотность более 2–2,5 мг КОН/г [3].

Для поддержания рабочих характеристик масла и увеличения срока годности в него добавляют специальные присадки, которые в том числе уменьшают пенообразование и положительно влияют на его моющие средства. Несмотря на эти меры, масло остаётся пожароопасным, требует подогрева в холодное время года и является источником выброса вредных веществ в атмосферу. Таким образом, для осуществления закалки в масле требуется целый хозяйственный участок для осуществления необходимых операций по обслуживанию.

Альтернативный способ термоупрочнения рельсовых накладок способом струйного водяного охлаждения был предложен Центром новых систем охлаждения и термоупрочнения металлов ОАО «ВНИИМТ». В качестве закалочного устройства применяется система регулируемого водяного охлаждения секционного типа. Термоупрочнение заготовок производится с четырёх сторон плоскими потоками воды (рис. 1) при их транспортировке на проходном режиме по рольгангу через устройство. Между первой и второй секциями имеется промежуток, когда накладка остывает на воздухе. Струи от форсунок направлены под углом к плоскости охлаждаемой накладки. Расход воды с каждой стороны накладки, регулируется раз-